УДК629.3.017.5

© С. С. Евтюков, канд. техн. наук, доцент
© И. С. Гладушевский, аспирант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет,
Санкт-Петербург, Россия)
E-mail: ese-89@mail.ru, iglad6@gmail.com

DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-5-181-186

© S. S. Evtyukov, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
© I. S. Gladushevskiy, post-graduate student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering,
St. Petersburg, Russia)
E-mail: ese-89@mail.ru, iglad6@gmail.com

ТОРМОЗНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ШИН НА СУХОМ АСФАЛЬТОБЕТОННОМ ПОКРЫТИИ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

BRAKE TESTS OF TIRES ON DRY ASPHALT CONCRETE PAVEMENT IN SUMMER PERIOD

Проведены испытания замедления транспортных средств категории М1 при использовании деселерометра BRAKE TESTER модели LWS-2/MC на сухом асфальтобетонном покрытии и окружающей температуры $17 \pm 0,5$ °С. Были сопоставлены значения, полученные в результате проведенных измерений коэффициентов сцепления асфальтобетонных покрытий, и значения, полученные при проведении тормозных испытаний.

Ключевые слова: транспорт, протектор, шипы, тормозной путь, сцепление с дорогой, эффективность торможения, технологии, замедление.

The deceleration tests of M1 category vehicles were carried out using the BRAKE TESTER model LWS-2/MC decelerometer on dry asphalt concrete pavement at ambient temperature $t = 17 \pm 0,5$ °C. There were compared the values obtained as a result of measuring the adhesion coefficients of asphalt concrete pavement and those obtained during the brake tests.

Keywords: transport, tread ply, anti-skid studs, braking distance, road adhesion, braking performance, technologies, deceleration.

Рассматривая взаимодействие дорожного покрытия и колес транспортного средства (ТС), можно выделить коэффициент сцепления в системе «машина–дорога». Его значение вносит существенные изменения при проведении как экспериментов, так и при дальнейших расчетах. Взаимодействие асфальтобетонного покрытия и протектора шины, учитывая факторы, приведенные в работе [1], значимо влияющие на процесс замедления ТС, позволяет наиболее точно определить значение коэффициента сцепления.

При планировании эксперимента главной целью стало установление замедления ТС, его фиксация деселерометром BRAKE TESTER модели LWS-2/MC и получение значений, наиболее

точно описывающих процесс замедления. Температура окружающего воздуха не должна быть менее 17 °С, а асфальтобетонное покрытие не должно находиться под прямым воздействием солнечных лучей. Также учитывалось техническое состояние ТС: исправность тормозной системы; высота протектора, которая определялась при помощи штангенциркуля; исправность ходовых узлов; наличие летнего типа шин с различным рисунком протектора; исправность основных узлов и агрегатов.

Замедление ТС фиксировалось с отметки 40 км/ч. Производилось оно одним водителем и с одним пассажиром при заданных значениях факторов, оказывающих значимое влияние на

замедление автомобиля [2]. Детальное описание факторов приведено в работе [3]. В эксперименте было задействовано 36 современных ТС категории М₁. Замедление каждого из них фиксировалось деселерометром 10 раз в целях недопущения введения ложных данных. Погрешность деселерометра составляла <4 %.

Датчик, регистрирующий замедление транспортного средства, крепился на лобовое стекло ТС, а его калибровка производилась при каждом втором измерении (ввиду возможности изменения его положения в результате экстренного торможения).

Сухое асфальтобетонное покрытие позволяло отключить вспомогательные торможению системы стабилизации, поскольку отсутствовало проскальзывание и снос колес. Рисунок шины (протектора) рассматривался только по высоте, поскольку необходимо определить влияние сцепления системы «машина–дорога» на эффективность торможения [4–6].

Определяя замедление и фиксируя его деселерометром, было отмечено, что при достижении скорости в 40 км/ч (для более эффективного проведения эксперимента) необходимо минимизировать изменение прямолинейного движения.

В результате проведения измерений были получены данные замедления ТС. Примеры этих данных приведены на рис. 1 и 2.

Из данных графиков видно, что:

- измерения проводили на сухом асфальтобетонном покрытии;
- пиковое значение замедления достигалось в начале торможения;
- применяли экстренную систему торможения;
- торможение осуществляли с активной антиблокировочной системой.

На рисунках видны линии, описывающие процесс замедления машин: красная — замедление; зеленая — скорость.

В табл. 1 представлены данные, полученные при проведении испытаний. Из таблицы видно, что значения полученного замедления показывают технологические изменения ТС. Сравнивая результаты строки 13 со строкой 9 можно сделать вывод, что применение современных технологий, улучшение антиблокировочных систем, использование современных материалов при

производстве тормозных систем значимо влияют на процесс замедления ТС.

На участках дороги были проведены замеры коэффициента сцепления асфальтобетонного покрытия при помощи передвижной дорожной лаборатории КП-514 РДТ на базе «Газель» NEXT (рис. 3). Дорожная лаборатория КП-514 РДТ с динамометрическим прицепом типа ПКРС-2 РДТ разработана для определения технико-эксплуатационных характеристик дорожных покрытий. Данные, получаемые от лаборатории, построенной по блочному типу, представляют интерес по значению коэффициента сцепления ϕ , измеряемого прибором ПКРС-2 РДТ¹.

Проведенные замеры ϕ^2 были применены к модельному расчету замедления ТС. Значения ϕ сухого асфальтобетонного покрытия [7–9] на территории Ленинградской области:

$$0,6 > \phi > 0,4. \quad (1)$$

Таким образом, зная ϕ дорожного покрытия, был проведен расчет замедления $J_{\text{зам}}$ по формуле

$$J_{\text{зам}} = \frac{g(m_{\text{тор}} \cos \alpha \phi_n + m_a g \sin \alpha) + P_B}{m_a \delta K_3}, \quad (2)$$

где K_3 — коэффициент эффективности торможения; g — ускорение свободного падения; $m_{\text{тор}}$ — масса, приходящаяся на заторможенные колеса; α — угол продольного наклона дороги; ϕ_n — коэффициент сцепления колес с дорогой; m_a — фактическая масса ТС.

В табл. 2 приведены результаты расчетов замедления и результаты установившегося замедления, полученные в ходе проведения замеров.

Коэффициент учета вращающихся масс рассчитывается по формуле

$$\delta = 1 + \left(\frac{z_k J_k}{m_a r_k^2} \right), \quad (3)$$

где z_k — число вращающихся колес; J_k — момент инерции колес; r_k — статический радиус колес.

Сила сопротивления воздуха считается по формуле

$$P_B = \frac{C_x \rho F_A V^2}{2}, \quad (4)$$

где C_x — коэффициент лобового сопротивления; ρ — плотность воздуха; F_A — лобовая площадь.

В табл. 2 приведено расчетное значение замедления относительно имеющихся коэффициентов

¹ URL: <https://rosdorteh.ru>

² URL: <http://dis.spbgasu.ru/specialty/personal/evtyukov-stanisla-sergeevich-0>

Рис. 1. Результат замера замедления ТС Audi A8

Рис. 2. Результат замера замедления ТС BMW 750D

сцепления дороги, и из экспериментального замедления получен фактический коэффициент сцепления.

Из полученных значений табл. 2 можно сделать вывод [10–14], что ϕ дорожного покрытия не соответствует ϕ установившегося замедления системы «шина–дорога» на выбранном участке дорожного покрытия. Получены значения ϕ :

$$0,97 < \phi < 1,03. \quad (5)$$

Полученные значения ϕ для легковых шин (5) удовлетворяют требованиям европейской ассоциации реконструкции ДТП [8]. Таким образом, можно сделать вывод, что значение коэффициента сцепления дороги отличное от коэффициента сцепления системы «шина–дорога».

Таблица 1

Замедление транспортных средств категории М₁ при использовании летних шин на сухом асфальтобетонном покрытии и окружающей температуре $17 \pm 0,5$ °C

№ п/п	Марка ТС	Модель ТС	Год ТС	Масса ТС, кг	Протектор, мм	$J_{ТС\ max}$, М/с ²	$J_{ТС}$, М/с ²
1	Audi	A8	2016	2035	3,81	11,01	9,50
2	BMW	750D	2017	2095	6,26	11,05	9,55
3	Mersedes-Benz	S-klasse 500	2016	2150	4,27	11,07	9,57
4	Audi	A6	2018	1884	5,13	10,99	9,49
5	BMW	5	2016	1845	3,93	11,06	9,56
6	Mersedes-Benz	E-klasse	2017	1815	2,88	11,12	9,62
7	Volvo	S80	2011	1866	4,85	11,05	9,55
8	Toyota	Camry	2017	1695	3,14	11,18	9,88
9	Lexus	IS	2013	1635	4,28	11,26	9,86
10	Mersedes-Benz	C-klasse 180	2015	1475	4,80	11,08	9,68
11	Audi	A4	2016	1485	3,28	10,92	9,81
12	BMW	3	2013	1485	3,77	10,63	9,29
13	Audi	A3	2008	1625	2,37	10,20	9,41
14	Mazda	CX-5	2015	1635	4,64	10,96	9,86
15	Toyota	LC 150	2019	2310	3,23	11,00	9,50

Рис. 3. Дорожная лаборатория КП-514 РДТ на базе «Газель» NEXT с динамометрическим прицепом типа ПКРС-2 РДТ

Таблица 2

**Расчет замедления и коэффициента сцепления ТС категории М₁
при использовании летней резины с учетом φ и установившегося
замедления соответственно**

№ п/п	Марка ТС	Модель ТС	$J_{\text{расч}}, \text{ м/с}^2$	$\varphi_{\text{дороги}}$	$J_{\text{эсп}}, \text{ м/с}^2$	$\varphi_{\text{факт}}$
1	Audi	A8	5,81	0,60	9,50	0,98
2	BMW	750D	5,81	0,60	9,55	0,99
3	Mercedes-Benz	S-klasse 500	5,81	0,60	9,57	0,99
4	Audi	A6	5,81	0,60	9,49	0,98
5	BMW	5	5,80	0,60	9,56	0,99
6	Mercedes-Benz	E-klasse	5,80	0,60	9,62	1,00
7	Volvo	S80	5,80	0,60	9,55	0,99
8	Toyota	Camry	5,79	0,60	9,88	1,03
9	Lexus	IS	5,77	0,60	9,86	1,03
10	Mercedes-Benz	C-klasse 180	5,76	0,60	9,68	1,01
11	Audi	A4	5,78	0,60	9,81	1,02
12	BMW	3	5,76	0,60	9,29	0,97
13	Audi	A3	5,78	0,60	9,41	0,98
14	Mazda	CX-5	5,81	0,60	9,86	1,02
15	Toyota	LC 150	5,84	0,60	9,50	0,98

Библиографический список

1. Евтюков С. С., Гладушевский И. С. Тормозные испытания шипованной резины на влажном асфальтобетонном покрытии при нулевых температурах // Вестник гражданских инженеров. 2020. № 3 (80). С. 173–177.

2. Евтюков С. С., Гладушевский И. С. Совершенствование методики исследования замедления ТС при эксплуатации летних шин с разной высотой протектора // Мир транспорта и технологических машин. 2020. № 1 (68). С. 72–78.

3. Евтюков С. А. Влияние факторов на сцепные качества покрытий автомобильных дорог // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 3. URL: <https://www.science-education.ru/pdf/2012/3/29.pdf>

4. Гладушевский И. С., Евтюков С. С. Оценка свойств замедления автомобиля при использовании зимнего типа шин на укатанном снежном покрытии // Вестник гражданских инженеров. 2019. № 5 (76). С. 217–221.

5. Гладушевский И. С., Евтюков С. С. Методика расчета тормозного пути на сухом асфальтобетонном покрытии при движении на шипованных шинах // Вестник гражданских инженеров. 2019. № 2 (73). С. 142–146.

6. Гладушевский И. С., Евтюков С. С. Метод расчета тормозного пути, учитывающий изменение коэф-

фициента сцепления колеса с дорогой в зависимости от скорости // Вестник гражданских инженеров. 2018. № 6 (71). С. 175–179.

7. Куракина Е. В., Евтюков С. А. Исследование влияния сцепных качеств дорог на безопасность дорожного движения // Вестник гражданских инженеров. 2013. № 5 (40). С. 166–172.

8. Евтюков С. С., Куракина Е. В. Исследование сцепных характеристик дорожного покрытия при автотехнической экспертизе ДТП // Вестник гражданских инженеров. 2015. № 5 (52). С. 216–223.

9. Евтюков С. А., Евтюков С. С. Параметры, влияющие на сцепные качества покрытий автодорог // Вестник Тувинского государственного университета. Технические и физико-математические науки. 2013. № 3 (18). С. 75–82.

10. Иларионов В. А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий. М.: Транспорт, 1989. 210 с.

11. Евтюков С. А., Голов Е. В. Реконструкция дорожно-транспортных происшествий. СПб.: Петрополис, 2017. 204 с.

12. Домке Э. Р. Расследование и экспертиза дорожно-транспортных происшествий. 2-е изд., стер. М.: Академия, 2012. 288 с.

13. Евтюков С. А., Васильев Я. В. Реконструкция и экспертиза ДТП в примерах. СПб.: Петрополис, 2012. 324 с.

14. Евтюков С. А., Брылев И. С. Алгоритм корректировки нормативных значений времени нарастания замедления, установившегося замедления двухколесных механических транспортных средств // Мир транспорта и технологических машин. 2015. № 3 (50). С. 3–11.

References

1. Evtyukov S. S., Gladushevskiy I. S. *Tormoznye ispytaniya shipovannoy reziny na vlazhnom asfal'tobetonnom pokrytii pri nulevykh temperaturakh* [Brake tests of studded rubber motor tires on wet bituminous concrete pavement at zero temperatures]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2020, no. 3 (80), pp. 173–177.
2. Evtyukov S. C., Gladushevskiy I. S. *Sovershenstvovanie metodiki issledovaniya zamedleniya TS pri ekspluatatsii letnikh shin s raznoy vysotoy protektora* [Improving the methodology for studying vehicle deceleration during the operation of summer tires with different tread ply heights]. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin – The world of transport and technological machines*, 2020, no. 1 (68), pp. 72–78.
3. Evtyukov S. A. *Vliyanie faktorov na stsepnye kachestva pokrytii avtomobil'nykh dorog* [Influence of factors on the road surface adhesion indicators]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya – Modern problems of science and education*, 2012, no. 3. Available at: <https://www.science-education.ru/pdf/2012/3/29.pdf>
4. Gladushevskiy I. S., Evtyukov S. S. *Otsenka svoystv zamedleniya avtomobilya pri ispol'zovanii zimnego tipa shin na ukatannom snezhnom pokrytii* [Evaluation of car deceleration properties when using winter type tires on rolled snow covering]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2019, no. 5 (76), pp. 217–221.
5. Gladushevskiy I. S., Evtyukov S. S. *Metodika rascheta tormoznogo puti na sukhom asfal'tobetonnom pokrytii pri dvizhenii na shipovannykh shinakh* [The method of calculating the braking distance on dry asphalt concrete pavement when driving on studded tires]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2019, no. 2 (73), pp. 142–146.
6. Gladushevskiy I. S., Evtyukov S. S. *Metod rascheta tormoznogo puti, uchityvayushchiy izmenenie koeffitsienta stsepleniya kolea s dorogoy v zavisimosti ot skorosti* [Technique for the braking distance calculation taking into account the change in the coefficient of the wheel grip depending on the speed]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2018, no. 6 (71), pp. 175–179.
7. Kurakina E. V., Evtyukov S. A. *Issledovanie vliyaniya stsepykh kachestv dorog na bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya* [Investigation of the influence of road adhesion quality on road traffic safety]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2013, no. 5 (40), pp. 166–172.
8. Evtyukov S. S., Kurakina E. V. *Issledovanie stsepykh kharakteristik dorozhnogo pokrytiya pri avtotekhnicheskoy ekspertize DTP* [Investigation of the road adhesion characteristics at the auto-technical examination of the road traffic accident]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2015, no. 5 (52), pp. 216–223.
9. Evtyukov S. A., Evtyukov S. S. *Parametry, vliyayushchie na stsepnye kachestva pokrytii avtodorog* [Parameters affecting the adhesion qualities of road surfaces]. *Vestnik Tuvinskogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie i fiziko-matematicheskie nauki – Bulletin of Tuva State University. Technical and physical and mathematical sciences*, 2013, no. 3 (18), pp. 75–82.
10. Ilarionov V. A. *Ekspertiza dorozhno-transportnykh proissheshtviy* [Examination of road traffic accidents]. Moscow, Transport Publ., 1989, 210 p.
11. Evtyukov S. A., Golov E. V. *Rekonstruktsiya dorozhno-transportnykh proissheshtviy* [Reconstruction of road traffic accidents]. St. Petersburg, Petropolis Publ., 2017, 204 p.
12. Domke E. R. *Rassledovanie i ekspertiza dorozhno-transportnykh proissheshtviy* [Investigation and examination of road traffic accidents]. 2nd ed., revised. Moscow, Akademiya Publ., 2012, 288 p.
13. Evtyukov S. A., Vasil'ev Ya. V. *Rekonstruktsiya i ekspertiza DTP v primerakh* [Reconstruction and examination of road accidents in examples]. St. Petersburg, Petropolis Publ., 2012, 324 p.
14. Evtyukov S. A., Brylev I. S. *Algoritm korrektyrovki normativnykh znacheniy vremeni narastaniya zamedleniya, ustanovivshegosya zamedleniya dvukhkolesnykh mekhanicheskikh transportnykh sredstv* [Algorithm for adjusting the standard values of the time of deceleration increase, steady deceleration of two-wheeled motor vehicles]. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin – The world of transport and technological machines*, 2015, no. 3 (50), pp. 3–11.